

Caracterització de detectors de germani amb mètodes Monte Carlo per a la implementació de l'anàlisi del pic suma en radioactivitat ambiental

Resum del PFM

Paula Salvador Castiñeira
Màster en Enginyeria en Energia

13 de setembre de 2010

1 Introducció

El Laboratori d'Anàlisi de Radioactivitat Ambiental (LARA), situat a les instal·lacions de l'Institut de Tècniques Energètiques (INTE) a l'ETSEIB (UPC), treballa amb diferents detectors de radiació per determinar nivells de radioactivitat en diferents matrius d'aigua, sòls, cendres... Concretament, dins el marc de l'espectrometria γ utilitzen el detectors *High-Purity Germanium* (HPGe), els quals es caracteritzen per la seva bona resolució en energia i en eficiència.

Un dels problemes més freqüents dins l'espectrometria γ és la determinació d'eficiències en radionúclids que pateixen desintegracions en cascada, és a dir, que emeten dos o més fotons de manera consecutiva. En aquests casos, l'espectre energètic tindrà 3 pics (en el cas de que s'emetin dos fotons). El primer pic serà el de l'energia del primer fotó, $E_{\gamma 1}$, el segon el d'energia del segon fotó, $E_{\gamma 2}$, i, finalment, el tercer pic serà el pic suma, corresponent a quan es detecten els dos fotons com un de sol, per tant, la seva energia serà $E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2}$. Els fotopics detectats d'un radionúclid d'aquest tipus tendiran a tenir una eficiència inferior a la real, ja que hi haurà una pèrdua d'eficiència corresponent, en gran part, al pic suma.

El procediment del laboratori per l'anàlisi de mostres consisteix, en primer lloc, en realitzar una calibració en energies i eficiències del detector. Per fer-ho s'utilitza una mostra patró, que conté diversos radionúclids, la majoria d'ells de desintegració simple. D'aquesta manera, s'obté una corba de calibració en eficiència per radionúclid. Per tant, quan una mostra contingui un radionúclid de desintegració en cascada l'eficiència que se li aplicarà serà incorrecte i també ho serà la activitat calculada. D'aquesta manera resulta necessari establir un factor de correcció per a aquests radionúclids que pateixen desintegració en cascada.

La simulació mitjançant codis basats en mètodes Monte Carlo (MC) són de gran utilitat

i ja han estat validats per tal de usar-los en aquests casos. En concret, aquest projecte s'ha realitzat mitjançant el codi PENELOPE (Salvat *et al*, 2003).

2 Metodologia

La realització d'aquest projecte ha seguit una estructura determinada per anar acomplint els objectius inicials. Prèviament però, s'ha realitzat un estudi detallat de la física dels detectors semiconductors i, en concret, dels HPGe.

En primer lloc s'ha determinat la geometria de cada detector. D'una banda s'han utilitzat les dades proporcionades pel fabricant per fer una primera aproximació. Més endavant, gràcies als resultats experimentals de l'eficiència amb fonts puntuals, s'ha modificat la geometria mitjançant les simulacions MC en coherència amb els resultats experimentals.

A continuació s'ha reajustat la geometria per a fonts extenses (matrius). A priori, la geometria determinada amb les fonts puntuals hauria de ser correcta però sovint hi ha discrepàncies, ja que, en primer lloc, pot haver-hi algun petit error en la modelització de la font; i en segon, i més important, perquè s'ha comprovat que el resultat experimental pot dependre de l'activitat de la font quan aquesta és elevada (tant les fonts puntuals com les matrius patró tenen activitats força altes i diferents entre si). Així, l'objectiu ha estat ajustar una geometria pel detector que donés resultats acceptables tant amb fonts puntuals com amb matrius extenses. Prioritzant els bons resultats amb les matrius extenses ja que són les que s'utilitzen al LARA.

Un cop determinada la geometria s'ha realitzat la corba d'eficiències en energia mitjançant la simulació MC. S'ha validat aquesta corba amb els radionúclids de desintegració simple del còctel patró experimental. Seguidament s'ha realitzat l'estudi dels radionúclids que presenten desintegració en cascada dins el còctel patró, ^{60}Co i ^{88}Y , i del ^{134}Cs present en les intercomparacions i d'importància ja que podria aparèixer en l'espectre si s'hagués produït una fuga en alguna central nuclear. Per fer-ho es va modificar el codi fortran per tal de poder reproduir mitjançant la simulació aquells fotons que pateixen desintegració en cascada. D'aquesta manera, fent el ratio entre l'eficiència contabilitzant el pic suma i sense contabilitzar-lo, s'obtenen els factors de correcció pels diferents radionúclids d'interès.

3 Resultats i discussions

Els resultats de les corbes de calibració obtinguts per simulació MC per les diferents matrius i els diferents detectors han estat comparats amb els resultats experimentals, presentant diferències en els valors inferiors al 10% en la majoria de casos.

Els factors de correcció pel ^{134}Cs han estat calculats i validats per les diferents matrius i detectors. Aplicant els valors de correcció obtinguts a les intercomparacions del LARA amb altres laboratoris s'ha millorat el valor de l'activitat calculada, fent que la diferència amb el valor de referència disminuís d'un 15% a un 5%, aproximadament, en gran part dels casos.

A més, la realització d'aquest projecte ha comportat el fer un estudi de l'electrònica dels detectors, comprovant la importància de la cancel·lació del pol-zero en el pols de sortida de l'amplificador. S'ha comprovat que quan l'activitat de la mostra és elevada es produeix una solapació de polsos a la sortida de l'amplificador, és a dir, un segon pols cau a la base del primer (veure figura 1). Aquest fet pot portar a una contabilització errònea del segon pols, situant-lo el l'espectre energètic uns quants keV per sota d'on hauria de ser. Així, l'espectre experimental presenta unes cues davant el fotopic (a la zona multi compton) que no es veuen en l'espectre simulat (veure figura 2).

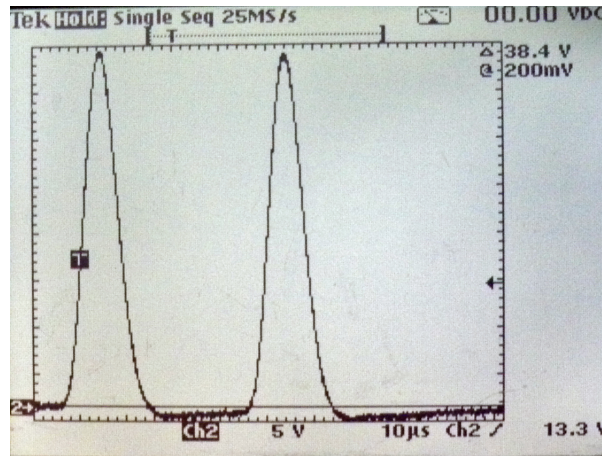


Figura 1: Solapació de pics a la sortida de l'amplificador. Obtenció de les imatges situant un oscil·loscopi a la sortida de l'amplificador del detector Ge-3, mesurant amb una font de ^{137}Cs .

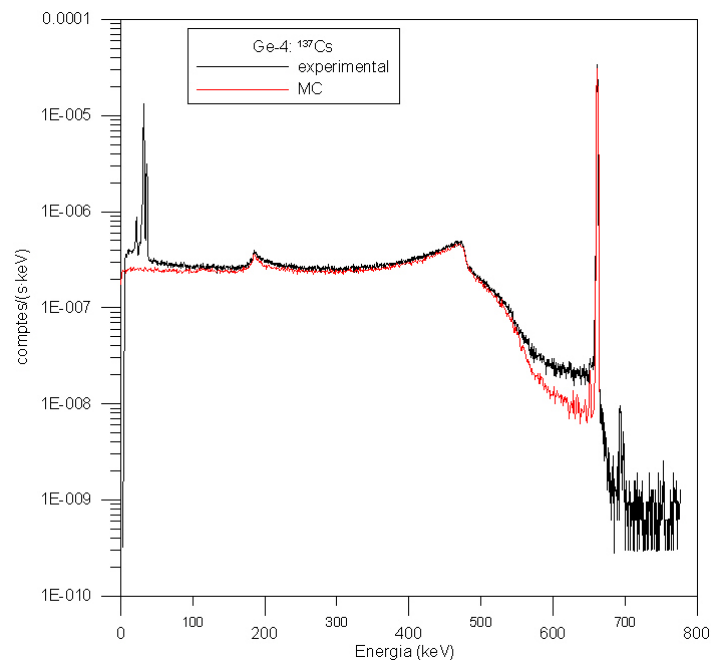


Figura 2: Espectre experimental i simulat del detector Ge-4 amb una font puntual de ^{137}Cs

4 Conclusions i treballs futurs

Els resultats d'eficiència en energia per les diferents matrius pels detectors mitjançant la simulació Monte Carlo tenen variacions inferiors al 10% respecte els valors experimentals en la majoria de casos. A més, els factors de correcció per radionúclids que presenten desintegració en cascada s'han determinat per cada detector mitjançant el codi fortran de PENELOPE que ha hagut de modificar-se per tal d'incloure les desintegracions en cascada dels radionúclids. Els radionúclids estudiats han estat el ^{60}Co , l' ^{88}Y i el ^{134}Cs . Els resultats del ^{134}Cs han estat validats amb intercomparacions en les que participa el laboratori. La millora del resultat de l'activitat calculada pel laboratori un cop aplicat el factor de correcció ha estat significativa: sense aplicar els factors de correcció la diferència relativa percentual entre el valor de l'activitat de referència i la calculada pel laboratori estava entre un 6% i un 20% per diferents detectors i matrius; un cop aplicat els factors de correcció la diferència relativa percentual pren valors inferiors al 5% en la majoria de casos. El laboratori ha usat aquests factors en les últimes intercomparacions en les que ha participat millorant significativament els resultats obtinguts.

Les modificacions que s'han realitzat en el codi fortran de PENELOPE per fer les simulacions dels radionúclids amb desintegració en cascada són una primera aproximació, ja que implementen el decaïment de dos fotons considerant que tenen igual probabilitat de manera consecutiva. En els casos estudiats aquest fet no presenta una font d'error considerable, ja que els fotons dels tres radionúclids tenen *yields* semblants. Un treball futur seria modificar el codi per tal que desenvolupés el decaïment d'un radionúclid tenint en compte les probabilitats de desintegració de cada un dels fotons. Un radionúclid d'interès en aquest cas és l' ^{152}Eu , present en moltes intercomparacions i que té més de 4 fotons significatius en el seu decaïment.

Un altre treball futur seria l'estudi de l'espectrometria γ dels fotopics. Durant la realització del projecte s'ha observat que davant de cada fotopic l'espectre experimental tenia un nivell de la zona multi compton superior al simulat. Aquestes cues dels senyals provoquen una variació de l'eficiència del fotopic i s'ha observat que a més activitat de la mostra més cua hi ha. Situant un oscil·loscopi a la sortida de l'amplificador s'ha verificat que la senyal dels polsos cau per sota el zero i es recupera lentament, això és degut a una mala cancel·lació del pol-zero. A més, quan les mostres són d'alta activitat és possible que un pols es solapi a la línia de base del pols anterior, estant aquesta per sota del zero i provocant errors en la detecció del segon pols. Per tant, els resultats d'aquest projecte es podrien millorar fent un estudi detallat de l'electrònica dels detectors i estudiant la resposta dels detectors amb mostres de diferent activitat.

Considerant els aspectes del paràgraf anterior els resultats de les eficiències es podrien millorar i d'aquesta manera també fer-ho els valors dels factors de correcció.